

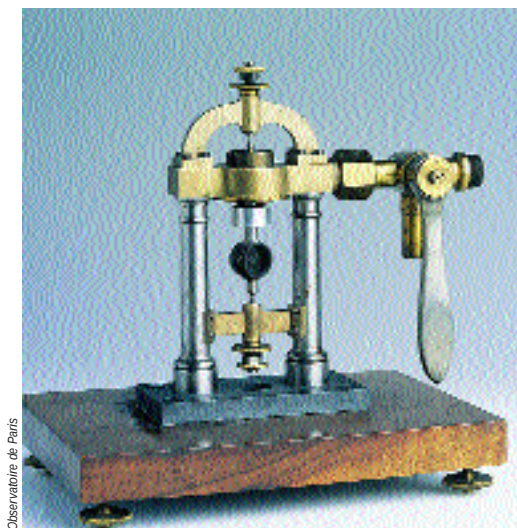
rotation de 2 000 tours par seconde, mais il identifiait difficilement les réflexions. Peu après, le diabète dont il souffrait réduisit son acuité visuelle au point qu'il dut interrompre ses expériences.

Foucault et Fizeau reprirent alors l'idée et comprirent que les réflexions deviendraient stationnaires, et donc observables, si des miroirs concaves renvoyaient les faisceaux lumineux vers le miroir tournant et, de là, vers un oculaire fixe (voir la figure ci-contre). Toutefois, alors qu'ils concevaient l'expérience, ils se brouillèrent, malgré leur collaboration de presque dix années. Se disputèrent-ils à propos de l'entraînement du miroir tournant ? C'est une hypothèse qu'on a parfois avancée, mais le caractère de Foucault n'a sans doute rien arrangé. Selon Donné, «Foucault n'était pas ce qu'on appelle aimable ; il n'avait ni la souplesse de caractère ni les complaisances nécessaires pour être un homme aimable dans le monde.»

Foucault et Fizeau travaillèrent alors séparément, rivalisant pour être le premier à obtenir un résultat à partir de l'idée d'Arago. Fizeau poursuivit ses expériences avec le miroir à mouvement d'horlogerie, tandis que Foucault utilisa une petite turbine à vapeur pour entraîner son miroir dans une rotation de 800 tours par seconde.

Foucault coiffa Fizeau au poteau pour la détermination des vitesses relatives dans l'eau et dans l'air. Le 30 avril 1850, il annonça que «la lumière emploie plus de temps à parcourir le même chemin dans l'eau que dans l'air». Sept semaines plus tard, Fizeau confirma le résultat. La théorie corpusculaire semblait abattue. Cette expérience de Foucault, qui déclencha un enthousiasme général, lui valut la Légion d'honneur. Toutefois, cette détermination était purement comparative, et Foucault ne donna pas de valeur de la vitesse avant 1862, nous le verrons plus loin.

Les physiciens comprirent bien plus tard que l'expérience de Foucault n'était pas aussi décisive qu'elle l'avait semblé initialement : la lumière n'est ni une onde ni une particule, mais peut présenter, selon les circonstances, des propriétés corpusculaires ou ondulatoires. Il faudra l'avènement de la mécanique quantique pour décrire correctement des phénomènes tels que l'effet photoélectrique, le rayonnement du corps noir et l'effet laser.



Observatoire de Paris

2. LE MIROIR TOURNANT fut un appareil capital pour Foucault. Il en utilisa un pour comparer la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau (voir la figure ci-dessous) et aussi, en 1862, pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et la distance du Soleil. L'appareil utilisé pour ces derniers travaux est celui qui apparaît sur la photographie ci-contre. Foucault renonça à utiliser un système à vapeur pour faire tourner le miroir ; il reprit à son voisin, le facteur d'orgues Aristide Cavaillé-Coll, un système à air comprimé. La turbine de cet appareil est aujourd'hui à l'Observatoire de Paris. L'axe du miroir reste remarquablement équilibré : il tourne aussi régulièrement qu'à l'époque de sa construction.

La lumière dans l'air et dans l'eau

En 1850, Léon Foucault montra que la lumière était plus rapide dans l'air que dans l'eau, ce qui semblait contredire la théorie corpusculaire de la lumière. Ce schéma n'est pas à l'échelle ; en fait, le tube plein d'eau avait une longueur de trois mètres, le diamètre du miroir tournant était de 14 millimètres, et l'ouverture était de deux millimètres de côté. L'expérience prit à Foucault plus de temps que prévu : seule la lumière du Soleil était suffisamment intense pour être encore visible après son passage à travers l'eau, et Foucault fut contrarié dans ses projets par le temps presque continuellement couvert qu'il fit pendant le triste printemps parisien de cette année-là.

2 Un miroir, dont la rotation rapide est commandée par une turbine à vapeur, réfléchit la lumière vers deux trajets d'égale longueur, l'un dans l'air (ci-dessus) et l'autre dans l'eau (à droite). Des miroirs concaves et métallisés placés à l'extrémité de ces deux trajets renvoient les deux faisceaux lumineux vers le miroir tournant. Le faisceau qui a suivi le trajet dans l'eau est maintenant vert et plus faible, en raison de l'absorption par l'eau.

3 Les deux faisceaux lumineux renvoyés par le miroir tournant reprennent en sens inverse leur trajet initial. Arrivés à la plaque de verre, les faisceaux sont réfléchis vers un oculaire d'observation.

Sifm Films

Un tour inspirateur

L'expérience suivante de Foucault, celle du pendule, le rendit célèbre. L'idée lui en vint alors qu'il faisait vibrer une tige d'acier serrée dans le mandrin d'un tour. Il remarqua que, malgré la rotation de la tige en même temps que le mandrin, le plan de vibration ne tournait pas. Cet effet, qui surprend même aujourd'hui (voir la photographie supérieure de la figure 3), est dû à l'inertie, qui maintient les objets dans le même état de mouvement tant qu'aucune force n'agit sur eux. Foucault comprit qu'un pendule oscillant sur la Terre se comporterait comme la tige sur le mandrin : il pré-

dit que la rotation de la Terre se manifesterait à des observateurs terrestres sous la forme d'une lente rotation du plan d'oscillation du pendule.

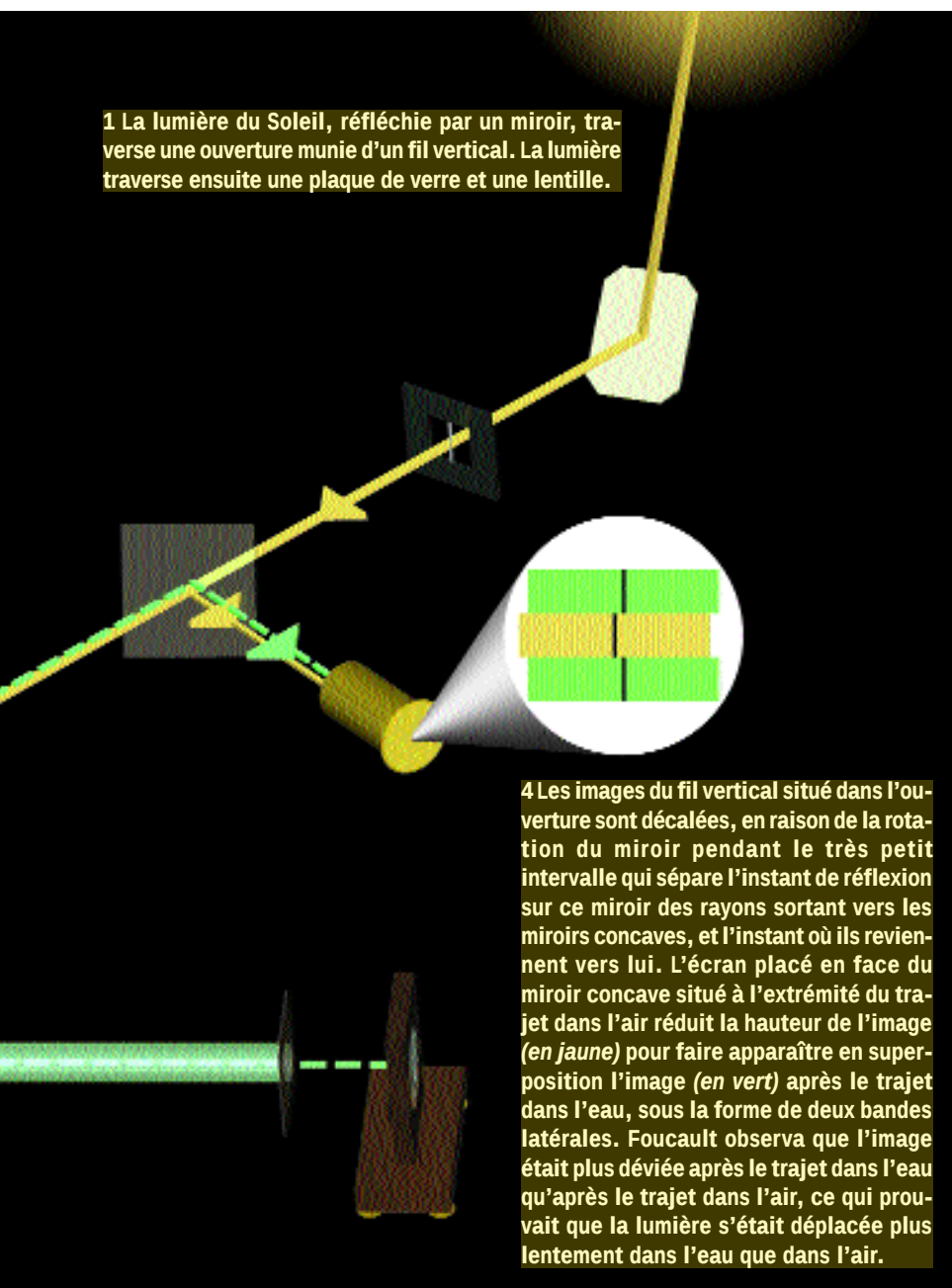
Travaillant dans la cave de la maison qu'il partageait avec sa mère, rue d'Assas (cette maison a été détruite dans les années 1890, et l'immeuble qui l'a remplacée, 28, rue d'Assas, porte, gravé dans la pierre, une inscription et un pendule), Foucault construisit son premier pendule, en suspendant une masse en laiton de cinq kilogrammes à un fil de deux mètres de long. Au cours de la première tentative, le 3 janvier 1851, le fil se rompit. Cinq jours plus tard, Foucault observait que le plan d'oscilla-

tion de son pendule tournait par rapport au sol.

À l'invitation d'Arago, Foucault installa à l'Observatoire de Paris un pendule de 11 mètres de long. En annonçant sa découverte à l'Académie des sciences, quelques jours plus tard, Foucault prédit que le plan d'oscillation du pendule tournerait de 360 degrés par jour aux pôles géographiques de la Terre et que, partout ailleurs, cette vitesse de rotation serait réduite d'un facteur égal au sinus de la latitude du site considéré ; aucune rotation n'aurait lieu dans le plan de l'équateur. À propos du sinus, Foucault avait écrit : « Il faut recourir soit à l'analyse, soit à des considérations mécaniques et géométriques que ne comporte pas l'étendue restreinte de cette Note. » Nous verrons plus loin que sa prudence était justifiée.

Avec l'appui du président de la République, Louis-Napoléon Bonaparte (qui devint plus tard l'empereur Napoléon III), Foucault réalisa un pendule encore plus grand, pour une spectaculaire démonstration publique : au printemps 1851, les Parisiens affluèrent pour observer une masse de 28 kilogrammes oscillant à l'extrémité d'un fil de 67 mètres, sous le vaste dôme du Panthéon. L'oscillation du plan d'oscillation du pendule était marquée par une pointe fixée sous la masse, qui traçait un sillon dans du sable humide, aux extrémités de la course du pendule. La résistance de l'air amortissait progressivement l'oscillation, de sorte que le pendule devait être relancé toutes les cinq à six heures, mais, pendant les quelques heures d'oscillation, le plan d'oscillation avait tourné de 60 à 70 degrés dans le sens des aiguilles d'une montre, conformément aux prévisions. L'expérience fut bientôt reprise partout dans le monde. À Rio de Janeiro, de l'autre côté de l'équateur, le plan d'oscillation tourna, comme prévu, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Foucault avait eu raison de ne pas justifier publiquement la présence d'un sinus dans l'expression de la vitesse de rotation du pendule : contrairement au plan de vibration d'une tige dans un tour, le plan d'oscillation du pendule se modifie au cours de la rotation de la Terre ; si la direction de l'oscillation reste fixe, la verticale tourne avec la Terre. Pour expliquer le sinus, Foucault admettait le « postulat effronté » suivant : « Quand la verticale, toujours



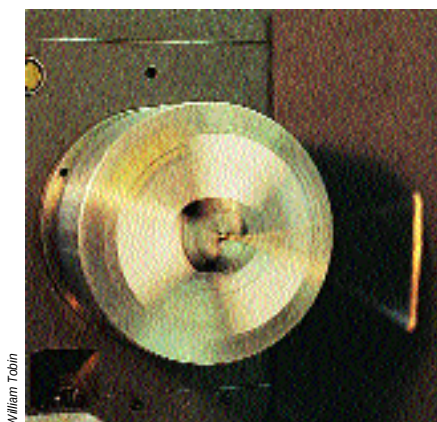
comprise dans le plan d'oscillation, change de direction dans l'espace, les positions successives du plan d'oscillation sont déterminées par la condition de faire entre elles des angles minima : autrement dit, en langue vulgaire, lorsque la verticale sort du plan d'impulsion primitive, le plan d'oscillation la suit en restant aussi parallèle que possible.» Foucault continuait : «Si je ne l'ai pas encore publiée, j'en ai un peu parlé et je me suis aperçu qu'elle n'allait pas à tout le monde.» De fait, dans les mois qui suivirent la démonstration du pendule, des dizaines de physiciens s'affrontèrent pour expliquer le mouvement du pendule de façon géométrique ou analytique. L'analyse est complexe parce que le pendule n'est pas totalement libre d'osciller dans l'espace : excepté aux pôles géographiques, le point d'attache du pendule décrit un cercle, et la direction de la force de gravitation – qui définit la verticale – change lorsque la Terre tourne (comme elle

reste centripète, elle change par rapport aux étoiles). La rotation du plan d'oscillation par rapport à un observateur lié à la Terre résulte de la force de Coriolis, cette même force qui dévie latéralement un enfant qui se déplace radialement dans un manège et, plus généralement, qui s'exerce (perpendiculairement à la vitesse) sur tout corps en mouvement dans un référentiel en rotation.

Pour Foucault, la rotation du plan d'oscillation du pendule indiquait le caractère absolu de l'espace. Quelques décennies plus tard, le physicien morave Ernst Mach contestera cette opinion, soutenant que ce sont les étoiles qui constituent les systèmes de référence non accélérés – c'est-à-dire inertiels – où les accélérations et les rotations sont mesurées. Pour Mach, une planète ne tournerait pas dans un univers qui, en dehors d'elle, serait vide ; sur une telle planète, on ne verrait pas se décaler le plan d'oscillation d'un pendule.

Les idées de Mach eurent une influence considérable sur Albert Einstein, mais la théorie de la relativité générale est moins absolutiste : ses référentiels inertiels ne s'étendent pas indéfiniment à travers l'espace ; ils n'ont qu'une validité locale. Dans ces référentiels, la rotation est absolue. Toutefois, selon la relativité générale, un corps en rotation, tel qu'une planète, entraîne très légèrement l'espace-temps dans sa rotation. Aux pôles de la Terre, cet entraînement de l'espace-temps, nommé effet Lense-Thirring, est égal à un cinquième de seconde d'arc par an environ. Cet effet aurait été décelé tout récemment par une équipe internationale.

Comme le sinus était source de confusion et de mésentente, Foucault chercha un mouvement indépendant de la latitude. Un an plus tard, il mettait au point le dispositif qu'il nommait gyroscope. L'axe de rotation du gyroscope ne change pas, et sa lente dérive par rapport à la Terre est observable à



William Tobin

3. LA ROTATION DE LA TERRE préoccupa Foucault en 1851 et en 1852. L'idée de son pendule lui vint quand il observa une tige en vibration, fixée dans le mandrin d'un tour en rotation (*ci-contre à gauche*). La tige tourne avec le mandrin, mais son plan de vibration reste fixe, car aucune force n'agit pour le déplacer. Âgé de 31 ans, Foucault comprit qu'un pendule se comporterait comme la tige (*voir l'encadré de la page suivante*). Ayant démontré la rotation de la Terre avec son célèbre pendule, il inventa le gyroscope (*ci-contre à droite et ci-dessous au milieu*) : le lent déplacement du rotor pouvait être observé avec un microscope (*ci-dessous à droite*).



Smithsonian Institution



Studio CNAV, Musée des Arts et Métiers



Smithsonian Institution



Astronomie populaire